



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 40 28 131 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 M 15/00
F 02 D 41/00
F 02 D 41/22

⑳ Aktenzeichen: P 40 28 131.0
㉔ Anmeldetag: 5. 9. 90
㉕ Offenlegungstag: 12. 3. 92

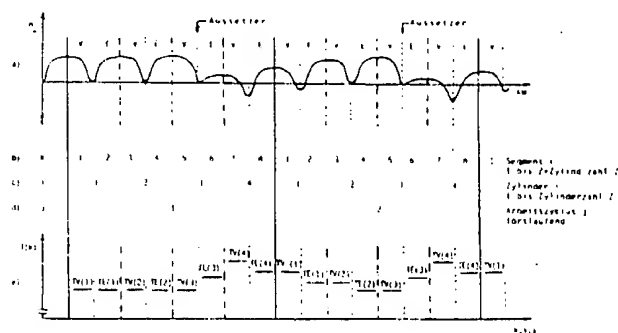
DE 40 28 131 A 1

㉑ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:
Denz, Helmut, Dipl.-Ing., 7000 Stuttgart, DE

⑤4 Verfahren zur Aussetzererkennung in einem Verbrennungsmotor

⑤7 Bei einem Verfahren zum Erkennen von Aussetzern in einem Verbrennungsmotor werden für jeden Zylinder i von Z Zylindern ein Verdichtungssegment und ein Expansionssegment so nach jeweiligem Anfangskurbelwinkel und jeweiliger Kurbelwinkelspanne festgelegt, daß zeitbezogen bei rundem Lauf des Motors eine zum Verdichtungssegment gehörende Verdichtungszeitspanne im wesentlichen gleich einer zum Expansionssegment gehörenden Expansionszeitspanne ist, wobei das Verdichtungssegment innerhalb derjenigen Kurbelwinkelspanne für den Zylinder i liegt, in der sich die Drehzahl des Motors aufgrund von Verdichtungsvorgängen erniedrigt, und wobei das Expansionssegment innerhalb derjenigen Kurbelwinkelspanne für jeden Zylinder i liegt, in der sich die Drehzahl des Motors aufgrund von Expansionsvorgängen erhöht, und bei dem Abweichungen zwischen Verdichtungszeitspanne und Expansionszeitspanne bei mindestens einem Zylinder zur Aussetzererkennung genutzt werden.



DE 40 28 131 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen von Aussetzern in einem Verbrennungsmotor. Derartige Verfahren sind insbesondere zur Anwendung bei Verbrennungsmotoren, in deren Abgastrakt ein Katalysator angeordnet ist, von Bedeutung. Treten nämlich Aussetzer auf, gelangt unverbranntes Luft/Kraftstoff-Gemisch in den Katalysator und verbrennt dort. Die damit verbundene Erhöhung der Temperatur des Katalysators führt relativ schnell zur Zerstörung desselben. In Extremfällen kann der Katalysator und damit u. U. das gesamte Fahrzeug in Brand geraten. Es ist daher von Bedeutung, Aussetzer so schnell wie möglich zu erkennen.

Stand der Technik

Die meisten Verfahren zur Aussetzererkennung benötigen für das Erkennen die Signale von speziellen Sensoren, z. B. solchen, die Zündströme messen, den Druck oder Licht im Brennraum messen oder Klopfsignale erfassen. Man ist jedoch allgemein bestrebt, so wenig Sensoren wie möglich einzusetzen. Ein Sensor, der zwingend an jeder modernen Motorsteuerung vorhanden ist, ist ein solcher, der den Kurbelwellenwinkel mißt. Es ist daher erstrebenswert, Signale von diesem Sensor für möglichst viele Zwecke einzusetzen, also auch zur Aussetzererkennung.

Bei einem bekannten Verfahren (DE-A-36 15 547), das die Signale vom Kurbelwellensensor zur Aussetzererkennung nutzt, wird gegen Ende des Verdichtungssegments eines jeden Zylinders und nahe dem Ende des darauffolgenden Expansionssegmentes jeweils die Kurbelwellengeschwindigkeit gemessen. Wenn Aussetzer auftreten, ist die Differenz zwischen den beiden erfaßten Geschwindigkeiten erheblich kleiner als bei ordnungsgemäßem Arbeiten des Motors. Mit Hilfe der Meßwerte lassen sich also Aussetzer erkennen, wozu die Meßwerte allerdings noch um Drehzahleffekte bereinigt und gemittelt werden müssen.

Trotz der bereits bekannten Verfahren zur Aussetzererkennung dauerten die Bemühungen an, noch zuverlässigere Verfahren als bisher zu entwickeln, insbesondere unter Ausnutzung der Signale vom Kurbelwellensensor.

Darstellung der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Aussetzererkennung in einem Verbrennungsmotor zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- für jeden Zylinder i von Z Zylindern werden ein Verdichtungssegment und ein Expansionssegment so nach jeweiligem Anfangskurbelwinkel und jeweiliger Kurbelwinkelspanne festgelegt, daß zeitbezogen bei rundem Lauf des Motors eine zum Verdichtungssegment gehörende Verdichtungszeitspanne $TV(i)$ im wesentlichen gleich einer zum Expansionssegment gehörenden Expansionszeitspanne $TE(i)$ ist, wobei das Verdichtungssegment innerhalb derjenigen Kurbelwinkelspanne für den Zylinder i liegt, in der sich die Drehzahl des Motors aufgrund von Verdichtungsvorgängen erniedrigt, und wobei das Expansionssegment innerhalb derjenigen Kurbelwinkelspanne für den Zylinder i liegt, in der sich die Drehzahl des Motors aufgrund von Expansionsvorgängen erhöht,
- und Abweichungen zwischen Verdichtungszeitspanne und Expansionszeitspanne bei mindestens einem Zylinder zur Aussetzererkennung genutzt werden.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß zur Aussetzererkennung zwei Zeitspannen herangezogen werden, die so festgelegt sind, daß ihre Differenz bei rundem Motorlauf eigentlich Null sein müßte. Dies ermöglicht es, Abweichungen vom runden Lauf sehr zuverlässig feststellen zu können, da durch Unrundheit verursachte Abweichungen sich prozentual ausgehend von dem kleinen Differenzwert viel stärker auswirken als ausgehend von einem großen Differenzwert, wie er z. B. bei dem oben geschilderten Verfahren vorliegt, bei dem die Differenz zwischen Maximal- und Minimalgeschwindigkeit der Kurbelwelle gebildet wird.

Von noch größerer Bedeutung ist aber, was Gegenstand einer vorteilhaften Weiterbildung ist, daß mit den genannten Zeitspannen festgestellt werden kann, ob Unrundheit des Motorlaufs nur durch Aussetzer bedingt ist, oder ob die Unrundheit alleine oder in Überlagerung mit Aussetzern durch Schwingungs- oder Rüttelkräfte bedingt ist, die auf den Motor übertragen werden. Die genannten Zeitspannen lassen sich nämlich in unterschiedlichster Weise, z. B. durch Differenzbildung, durch Summenbildung, durch Mittelwertbildung oder durch Maximalwertbildung verarbeiten, wodurch sich Kombinationen von Größen aufstellen lassen, die für unrunder Motorlauf, der nur durch Aussetzer bedingt ist, entweder plausibel oder nicht plausibel sind. Im Fall von Unplausibilität wird die Empfindlichkeit der Aussetzererkennung verringert, da ja unter Umständen keine Aussetzer vorliegen, oder solche, denen noch Drehzahländerungen überlagert sind, die durch Schwingungs- oder Rüttelkräfte hervorgerufen sind. Hierbei ist zu beachten, daß langandauernde Schwingungsvorgänge, z. B. hervorgerufen durch Resonanzen des Antriebsstrangs, in der Regel bei den erfaßten Werten nicht zu so großer Amplitude führen wie Aussetzer. Daher kann durch Verringern der Empfindlichkeit der Aussetzererkennung ausgeschlossen werden, daß sich derartige Schwingungen auf die Aussetzererkennung auswirken. Große Amplituden können aber insbesondere durch Rüttelkräfte hervorgerufen werden, die jedoch in der Regel nicht über längere Zeit mit konstanter Periodendauer auftreten. Vielmehr können die Auswirkungen derartiger Kräfte auf die Auswertung dadurch verringert werden, daß die erfaßten Werte gemittelt werden. Wird festgestellt, daß unrunder Motorlauf nicht nur durch Aussetzer bedingt ist, kann also auch eine Mittelungszeitspanne erhöht werden, um den Einfluß der Fremdeffekte zu verringern. Auch dies entspricht einem Verringern der Empfindlichkeit der Aussetzererkennung.

Die abhängigen Ansprüche 3–6 geben vorteilhafte Maßnahmen für das Erkennen und Verarbeiten von

Fremdeffekten an.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß Aussetzererkennung, wie jede Fehlererkennung, ein zweistufiger Prozeß ist. Zunächst muß eine Größe erfaßt werden, die ein Maß für den Fehler, hier die Aussetzer, ist. Anschließend ist der erfaßte Wert mit einer Schwelle zu vergleichen. Übersteigt der erfaßte, und ggf. verarbeitete, Wert den Schwellenwert, wird auf das Vorliegen eines Fehlers erkannt.

Gemäß dem oben angegebenen Verfahren werden Abweichungen zwischen Verdichtungszeitspanne und Expansionszeitspanne bei mindestens einem Zylinder zur Aussetzererkennung genutzt. Dieses Nutzen kann nur in der ersten der eben genannten beiden Stufen, nur in der zweiten, oder auch in beiden Stufen erfolgen. Wird die Maßnahme in der ersten Stufe genutzt, wird die Differenz zwischen den beiden Zeitspannen gebildet, die ja so gelegt sind, daß sie bei rundem Motorlauf gleich sind, so daß dann die Differenz Null sein muß. Die Differenz ist also der Wert, der zur Aussetzererkennung gebildet wird. Werden die Abweichungen zwischen den beiden genannten Zeitspannen dagegen im zweiten Schritt genutzt, dienen sie dazu, den Vergleich mit der Schwelle in irgendeiner Art zu beeinflussen, sei es durch Beeinflussen eines Mittelungsverfahrens abhängig von den erfaßten Werten, oder sei es durch Ändern der Schwelle.

Werden die Abweichungen zwischen den genannten Zeitspannen in beiden Stufen verwendet, hat dies den Vorteil, daß in der ersten Stufe Werte verwendet werden können, die in der zweiten Stufe ohnehin benötigt werden.

Es ist jedoch auch möglich, in der ersten Stufe nicht beide genannten Zeitspannen zu verwenden, sondern nur eine der Zeitspannen, insbesondere die Verdichtungszeitspanne. Zeigt nämlich ein Zylinder einen Aussetzer, vergrößert sich nicht nur die Expansionszeitspanne dieses Zylinders gegenüber der davor liegenden Verdichtungszeitspanne, sondern die für den in der Zündfolge sich anschließenden Zylinder gemessene Verdichtungszeitspanne verlängert sich noch weiter. Ohne Zündaussetzer müßten die Verdichtungszeitspannen für zwei sich in der Zündfolge aneinander anschließende Zylinder gleich sein. Im Falle eines Aussetzers des ersten der beiden Zylinder ist jedoch die Differenz der beiden Verdichtungszeitspannen etwa doppelt so groß wie die Differenz zwischen Expansionszeitspanne und Verdichtungszeitspanne des ersten der beiden Zylinder alleine. Es läßt sich also das Signal/Rausch-Verhältnis verbessern, wenn in der ersten der beiden genannten Stufen die Differenz zwischen den Verdichtungszeitspannen zweier in der Zündfolge aufeinanderfolgender Zylinder erfaßt wird. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß die so gebildete Differenz beim Erkennen von weiteren Störungen neben Aussetzern wenig Aussagekraft hat, so daß diese Größe dort in der Regel nicht benötigt wird, für die erste Stufe also gesondert berechnet werden muß.

Es sei darauf hingewiesen, daß ein Motor nie mit dauernd völlig konstanter Drehzahl läuft, also auch dann nicht, wenn er ohne Aussetzer und andere Störungen läuft. Es ist vielmehr so, daß in jedem Verdichtungssegment für einen Zylinder die Drehzahl etwas fällt und im darauf folgenden Expansionssegment wieder steigt. Dieses Schwanken der Drehzahl wiederholt sich für jeden Zylinder. Motorlauf mit diesen geringen Drehzahlschwankungen, die durch die Funktion des Motors bedingt sind, wird in den Ansprüchen und im folgenden als "runder Motorlauf" bezeichnet. Unrunder Motorlauf ist dementsprechend solcher, bei dem noch größere Drehzahlschwankungen auftreten, sei es durch Aussetzer, durch Schwingungen des Antriebsstrangs oder durch Rüttelkräfte, die von der Straße her übertragen werden.

Da, wie eben erwähnt, die Motordrehzahl sich dauernd periodisch ändert, lassen sich gleiche Zeitdauern von Verdichtungszeitspanne und Expansionszeitspanne auf unterschiedliche Arten einstellen. Es können nämlich die Kurbelwinkelsegmente, innerhalb derer diese Zeitspannen gemessen werden, nach Anfangskurbelwinkel und/oder Kurbelwinkelspanne variiert werden. Bei einem Vierzylinder-Viertaktmotor ist es aus Synchronisierungsgründen am einfachsten, sowohl für das Verdichtungssegment wie auch für das Expansionssegment jeweils 90° Kurbelwinkel zu wählen, so daß sich Verdichtungssegmente und Expansionssegmente in ununterbrochener Reihenfolge jeweils unmittelbar aneinander anschließen. Es ist dann lediglich der Anfangskurbelwinkel so festzulegen, daß die Zeitspannen für die beiden Segmente gleich werden. Dieses Festlegen kann in einfacher Weise auf einem Prüfstand erfolgen. Weist der Viertaktmotor mehr als vier Zylinder auf, muß das Überlappen der verschiedenen Arbeitssegmente in unterschiedlichen Zylindern beachtet werden. Abhängig vom jeweiligen Motor, an dem das Verfahren ausgeübt werden soll, kann es daher von Vorteil sein, die Segmente nicht mehr unmittelbar aneinander anschließen zu lassen, sondern getrennt voneinander festzulegen.

Zeichnung

Fig. 1a schematische Darstellung der Drehzahl eines Motors aufgetragen über dem Kurbelwinkel KW;

Fig. 1b Darstellung der fortlaufenden Zählung von Arbeitssegmenten k , wie sie dem Kurbelwinkel KW in **Fig. 1a** zugeordnet sind;

Fig. 1c Darstellung entsprechend **Fig. 1b**, jedoch für in der Zündfolge aufeinanderfolgende Zylinder i ;

Fig. 1d Darstellung entsprechend der von **Fig. 1b**, jedoch für Arbeitszyklen j ;

Fig. 1e schematische Darstellung der Zeitdauer $T(k)$ aufeinanderfolgender Segmente in der Darstellung gemäß **Fig. 1a**;

Fig. 2 Blockschaltbild zum Veranschaulichen, wie Differenzen von Segmentzeitspannen für weitere Verarbeitung gewonnen werden;

Fig. 3a Blockschaltbild zum Veranschaulichen, wie für weitere Verarbeitung Differenzen aus den Differenzzeitspannen gebildet werden, die mit Hilfe des anhand von **Fig. 2** veranschaulichten Verfahrens gewonnen wurden;

Fig. 3b Blockschaltbild entsprechend dem von **Fig. 3a** jedoch mit einer anderen Differenzbildung;

Fig. 4 Blockschaltbild zum Veranschaulichen, wie mit Hilfe von Differenzwerten eine Aussetzererkennung mit Störeffekterkennung ausgeführt wird, wobei die Differenzen nach einem der Verfahren gebildet sind, wie sie

durch die Fig. 3a und 3b veranschaulicht sind; und

Fig. 5 schematisches Diagramm zum Veranschaulichen, wie Störeffekte (Schwingungen, Rütteln) neben Aussetzern erkannt werden können.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

In Fig. 1a ist der Verlauf der Drehzahl n über dem Kurbelwellenwinkel KW über zwei Arbeitszyklen $j = 1$ und $j = 2$ (siehe Fig. 1d) aufgetragen. Das Ende eines jeden Arbeitszyklus ist in Fig. 1a durch einen senkrechten durchgezogenen Strich gekennzeichnet. Der Verlauf gemäß Fig. 1a gilt für einen Vierzylinder-Viertaktmotor. Jeder Arbeitszyklus j ist daher in vier Zeitspannen für die einzelnen Zylinder i (Fig. 1c) unterteilt, was in Fig. 1a durch gestrichelte Linien angezeigt ist. Die Zylindernumerierung erfolgt hier und im folgenden entsprechend der chronologischen Zündungsfolge. Vor jedem Zünden liegt ein Verdichtungssegment V und nach jedem Zünden ein Expansionssegment E vor. Das Verdichtungssegment und das Expansionssegment für einen jeweiligen Zylinder sind in Fig. 1a durch eine jeweilige gepunktete Linie voneinander abgetrennt. Für jeweils einen Arbeitszyklus j sind demgemäß insgesamt acht Segmente $k = 1 - 8$ (Fig. 1b) vorhanden.

Wenn der Motor rund läuft, wie dies bis zum zweiten Zylinder von links herkommend in Fig. 1a gilt, steigt und fällt die Drehzahl periodisch in engen Grenzen. Während jedem Verdichtungssegment V verringert sich die Drehzahl, während sie im folgenden Expansionssegment E ansteigt. Beim Ausführungsbeispiel sind beide Kurbelwinkelsegmente gleich lang und erstrecken sich jeweils über 90° Kurbelwinkel. Der Anfangswinkel ist so gelegt, daß zeitbezogen die beiden Segmente ebenfalls gleich lang sind, daß also die zu einem Verdichtungssegment V gehörende Verdichtungszeitspanne $TV(i)$ im wesentlichen gleich einer zu einem Expansionssegment E gehörenden Expansionszeitspanne $TE(i)$ ist. Diese Zeitspannen $T(k)$ für die einzelnen Segmente sind in Fig. 1e dargestellt, und zwar fortlaufend für die einzelnen Segmente k .

In Fig. 1 ist angenommen, daß der Zylinder $i = 3$ Aussetzer aufweist. Dies hat zur Folge, daß nach dem Abnehmen der Drehzahl n während der Verdichtungszeitspanne dieses Zylinders die Drehzahl in der folgenden Expansionszeitspanne nicht mehr auf den alten Maximalwert ansteigt, sondern daß sie sich nur geringfügig gegenüber dem Minimum zum Ende der Verdichtungszeitspanne erhöht. Ein Erhöhen findet noch statt, da sich das verdichtete Kraftstoff/Luft-Gemisch entspannt. Da jedoch die alte Maximaldrehzahl nicht mehr erreicht wird, wird nun für das Expansionssegment E des dritten Zylinders nicht mehr dieselbe Zeitspanne benötigt wie für das Verdichtungssegment V , sondern die Zeitspanne ist größer. Dies ist aus Fig. 1e deutlich erkennbar, wo die Expansionszeitspanne $TE(3)$ höher liegt als die Verdichtungszeitspanne $TV(3)$. Im folgenden Verdichtungssegment für den vierten Zylinder nimmt die Drehzahl noch weiter ab, weswegen die Verdichtungszeitspanne $TV(4)$ für diesen Zylinder besonders lang ist. Erst im Expansionssegment des vierten Zylinders findet wieder eine Beschleunigung statt, weswegen die Expansionszeitspanne $TE(4)$ kürzer ist als die Verdichtungszeitspanne $TV(4)$. Die folgende Verdichtungszeitspanne $TV(1)$ für den ersten Zylinder entspricht wieder in etwa der vorausfolgenden Expansionszeitspanne, also der Zeitspanne $TE(4)$. Mit der Expansionszeitspanne $TE(2)$ für den zweiten Zylinder wird wieder der Gleichgewichtswert erreicht, wie er für runden Motorlauf gilt. Dieselbe Zeitperiode gilt auch für die folgende Verdichtungszeitspanne $TV(3)$ des dritten Zylinders, da sich in dieser der Aussetzer im dritten Zylinder noch nicht auswirkt. Erst in der nächsten Expansionszeitspanne $TE(3)$ wirkt sich der Aussetzer wieder aus, woraufhin sich der hier beschriebene Ablauf wiederholt.

Mit den genannten Zeitspannen lassen sich folgende Differenzen bilden:

$$DTE(i)V(i) = TE(i) - TV(i) \quad (A)$$

$$DTV(i+1)E(i) = TV(i+1) - TE(i) \quad (B)$$

Als Differenz $DIFF(i)$ kann entweder die Größe gemäß Gleichung (A) verwendet werden, also

$$DIFF(i) = DTE(i)V(i) \quad (C1)$$

Noch größer ist aber die Summe aus zwei aufeinanderfolgenden Differenzzeitspannen, also folgender Wert für $DIFF(i)$:

$$DIFF(i) = DTE(i)V(i) + DTV(i+1)E(i) = TV(i+1) - TV(i) \quad (C2)$$

Aus Fig. 1 fällt unmittelbar folgendes auf:

- der Wert $DIFF(i)$ gemäß Gleichung (C1) ist Null, wenn keine Aussetzer vorliegen, dagegen größer Null im Fall von Aussetzern;
- der Wert $DIFF(i)$ gemäß Gleichung (C2) ist gleich Null, wenn keine Aussetzer vorliegen, dagegen größer Null im Fall von Aussetzern, und zwar noch größer als der Wert $DIFF(i)$ gemäß Gleichung (C1), weswegen dieser Wert ein besseres Signal/Rauschverhältnis bei der Aussetzererkennung erwarten läßt;
- wenn die Differenz $DTE(i)V(i) > 0$ ist, muß, falls diese Abweichung von Null durch einen Aussetzer bedingt ist, auch der Wert $DTV(i+1)E(i) > 0$ sein. Ist dies nicht der Fall, liegt entweder gar kein Aussetzer vor oder einer, dem weitere Störungen überlagert sind. In diesem Fall empfiehlt es sich, die Empfindlichkeit der Aussetzererkennung herabzusetzen.

Wenn die gemessenen Zeitspannen noch in anderer Weise verarbeitet werden, lassen sich weitere Größen bilden, die auf Plausibilität dahingehend geprüft werden können, ob nur Aussetzer oder Störungen, unter

Umständen überlagert mit Aussetzern, vorhanden sind. Dies wird weiter unten anhand von Fig. 5 beschrieben. Im folgenden werden gesamte Verfahrensabläufe, die die bisher beschriebenen Erkenntnisse nutzen, anhand der Blockschaltbilder der Fig. 2 – 4 erläutert. Die Blöcke gemäß den Fig. 2 – 4 werden aufeinanderfolgend abgearbeitet, wobei der mittlere Teil des Verfahrens entweder durch die Variante gemäß Fig. 3a oder durch die Variante gemäß Fig. 3b gebildet sein kann.

Fig. 2 veranschaulicht das Bilden der Werte gemäß den oben angegebenen Gleichungen (A) und (B). Einem Summationsglied 10 werden jeweils ein Zeitspannenwert $T(k)$ (siehe Fig. 1e) und der gegen diesen Wert um ein Segment durch ein Verzögerungsglied 11 verzögerter Segmentzeitspannenwert $T(k-1)$ zugeführt. Diese Differenz $DT(k, k-1)$ ist entweder der Wert gemäß Gleichung (A) oder der gemäß Gleichung (B), abhängig davon, ob k gerade ist oder ungerade ist. Durch einen Multiplexer 12 werden die Werte an acht Ausgangsanschlüsse gegeben, also jeweils einen Ausgangsanschluß für jeweils ein Segment.

Die Fig. 3a und 3b veranschaulichen Vorgänge, wie sie beim Ausführen obiger Gleichung (C1) bzw. (C2) ablaufen. Gemäß Gleichung (C1) werden die Differenzwerte $DT(i)V(i)$ unverändert als Differenzwerte $DIFF(i)$ ausgegeben (Fig. 3a). Zum Auswerten von Gleichung (C2) weist das Blockschaltbild gemäß Fig. 3b vier Summationsstellen 13.1 bis 13.4, also jeweils eine für jeden der vier Zylinder auf. Dort wird aus den im Blockschaltbild gemäß Fig. 2 berechneten Werten $DTE(i)V(i)$ und $DTV(i+1)E(i)$ die Summe berechnet, um die jeweiligen Differenzwerte $DIFF(i)$ zu erhalten. Stattdessen könnten die Differenzwerte auch unmittelbar als $TV(i+1) - TV(i)$ berechnet werden. Dies könnte entsprechend erfolgen wie das Berechnen des Wertes $DT(k, k-1)$ in Fig. 2, jedoch mit einem Verzögerungsglied, das um zwei Segmente verzögert. Dies, weil jedes übernächste Segment ein Verdichtungssegment ist.

Die Werte $DIFF(i)$ könnten direkt mit einem Schwellenwert $SW(n, L)$ verglichen werden, dessen aktueller Wert von den jeweils aktuellen Werten der Drehzahl n und einer beliebigen lastabhängigen Größe L abhängt. Vorteilhafterweise sollte dieser Schwellenwert noch Beschleunigungs- und Verzögerungseffekte erfassen. Sobald einer der Differenzwerte $DIFF(i)$ den Schwellenwert $SW(n, L)$ überschreitet, wäre dies das Zeichen dafür, daß Aussetzer im betreffenden Zylinder i vorliegen.

Vorteilhafter ist es jedoch, die Differenzwerte $DIFF(i)$ weiterzubearbeiten, bevor der Schwellenwertvergleich erfolgt. Unter welchen Gesichtspunkten das Modifizieren erfolgen kann, wird mit Hilfe des Blockschaltbildes von Fig. 4 veranschaulicht.

Es ist unmittelbar erkennbar, daß die Differenzen zwischen den Zeitspannen benachbarter Segmente nicht nur im Falle von Aussetzern, Schwingungen oder Rüttelvorgängen ungleich Null werden, sondern auch im Fall von Beschleunigungen und Verzögerungen. Um die letztgenannten Effekte zu kompensieren, ist es von Vorteil, vom berechneten Differenzwert eine Korrekturgröße BVK abzuziehen, die von Beschleunigungen und Verzögerung in gleicher Weise abhängt wie einer der genannten Differenzwerte. Es kann z. B. die durch Vier geteilte Summe der Differenzen $DIFF(i) = TV(i+1) - TV(i)$ für die vier Zylinder in einem Arbeitszyklus j arbeitenden Zylinder berechnet werden. Somit wird die mittlere Drehzahländerung über einen gesamten Arbeitszyklus zur Korrektur verwendet und momentane Änderungen z. B. durch Aussetzer oder Rütteln bestmöglich unterdrückt. Im Falle bloßer Aussetzer ist diese Größe Null, dagegen positiv bei Beschleunigungen und negativ bei Verzögerungen. Die Berechnung lautet:

$$BVK = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z DIFF(i) \quad (D)$$

Die Korrekturgröße BVK zum Korrigieren von Effekten, die durch Beschleunigungen oder Verzögerungen hervorgerufen sind, wird von den Differenzen $DIFF(i)$ abgezogen, was in einer jeweiligen Summationsstelle 14.1 bis 14.4 für die Werte der vier verschiedenen Zylinder erfolgt.

Von Vorteil ist es, auch den Einfluß der Drehzahl auf die Differenzwerte vor dem Schwellenwertvergleich zu berücksichtigen. Dies, weil es sich empfiehlt, noch Mittelungen auszuführen. Werden aber die Meßwerte gemittelt, dagegen Schwellenwerte verwendet, die vom jeweils aktuellen Wert der Drehzahl n abhängen, ändert sich der Schwellenwert bei einer Drehzahländerung schneller als der gemittelte Vergleichswert, wenn dieser nicht bereits eine Drehzahlkorrektur erfahren hat. Zur Drehzahlkorrektur reicht es aus, den mit dem Wert BVK korrigierten Differenzwert durch eine der erfaßten Zeitspannen zu teilen, z. B. durch die jeweilige Verzögerungszeitspanne $TV(i)$. Für den Drehzahlkorrekturwert nK gilt dann:

$$nK = TV(i) \quad (E)$$

In Divisionsstellen 15.1 bis 15.4 im Blockschaltbild gemäß Fig. 4 wird jeweils folgender Aussetzererkennungswert $DTAE(i)$ berechnet:

$$DTAE(i) = (DIFF(i) - BVK)/nK \quad (F)$$

Noch besser wäre die Korrektur des Drehzahlfehlers, wenn durch eine mit der zweiten oder dritten Potenz von der Zeit abhängige Größe dividiert würde, also z. B. durch TV^2 oder $TV^3(i)$. Die Praxis hat jedoch gezeigt, daß dieser Rechenaufwand nicht erforderlich erscheint.

Mit den in dieser Weise korrigierten Differenzwerten könnte unmittelbar eine Mittelwertbildung mit Schwellenwertvergleich erfolgen, was bereits sehr zuverlässige Werte für die Aussetzererkennung liefern würde. Die Mittelwertbildung mit Schwellenwerterkennung könnte entweder dadurch erfolgen, daß die Werte $DTAE(i)$

unmittelbar mit einem Schwellenwert verglichen werden und auf Aussetzer erkannt wird, wenn innerhalb einer vorgegebenen Winkelspanne die Schwelle öfter überschritten wird, als es einer vorgegebenen Anzahl entspricht, oder dadurch, daß die Werte $DTAE(i)$ gleitend gemittelt werden und der so gebildete Mittelwert mit einem Schwellenwert verglichen wird.

Beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 erfolgt jedoch noch eine sogenannte Rüttelkorrektur vor dem Schwellenwertvergleich mit Mittelwertbildung. Ein Rüttelkorrektur-Gesamtwert RKG wird in einem Rüttelkorrekturblock 16 geliefert und an Summationsstellen 17.1 bis 17.4 geliefert, wo der Rüttelkorrektur-Gesamtwert RKG von den Aussetzererkennungswerten $DTAE(i)$ jeweils abgezogen wird.

Wie der Rüttelkorrektur-Gesamtwert RKG beim Ausführungsbeispiel gebildet wird, wird nun anhand von Fig. 5 erläutert.

Fig. 5 zeigt, entsprechend wie Fig. 1e, Werte von Zeitspannen aufgetragen über der fortlaufenden Nummer aufeinanderfolgender Segmente, also jeweils eines Verdichtungssegments und eines Expansionssegments für jeden der vier Zylinder. Die Arbeitszyklen j sind wiederum mit durchgezogenen Strichen voneinander abgetrennt, die Werte für aufeinanderfolgende Zylinder sind durch gestrichelte Linien voneinander abgetrennt, und die beiden Zeitspannen für jeweils einen Zylinder sind durch gepunktete Linien voneinander getrennt. Es ist angenommen, daß eine Schwingung vorliegt, deren Periodendauer das Eineinhalbfache der Dauer eines Arbeitszyklus j ist. Die Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Segmentzeitspannen wird in beliebigen Einheiten gemessen. Der größten Differenz ist der Wert 1 zugeordnet. Beim Ausführungsbeispiel sind den aufeinanderfolgenden Differenzen die Werte $1/4, 1/2, 1, 1, 1/2, 1/4, -1/4, -1/2, -1, -1, -1/2, -1/4$ und dann wieder $1/4, 1/2$ usw. zugeordnet. Es ist erkennbar, daß beim Ansteigen der Zeitspannen ähnlich aufeinanderfolgende Differenzwerte auftreten wie im Fall eines Aussetzers gemäß Fig. 1e, jedoch treten deutliche Unterschiede beim sich Verkürzen der Zeitspannen auf. Während nämlich im Fall eines Aussetzers die Differenz $DTE(i)V(i)$ für den aussetzenden Zylinder und die Differenz $DTV(i+1)E(i)$ für den folgenden Zylinder in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen oder im wesentlichen gleich sind (siehe z. B. in Fig. 1: $DTE(3)V(3)$ und $DTV(4)E(3)$), können im Fall einer Schwingung, oder auch bei Rütteln, andere Unterschiede zwischen diesen Zeitspannen bestehen. Die Differenzen $DTR(i)$ dieser Zeitspannen werden gemäß Gleichung (J) von Fig. 5 gebildet. Gemäß Gleichung (K) wird für jeden Arbeitszyklus j die Summe der Beträge der negativen Differenzwerte gebildet, wodurch ein erster Rüttelkorrekturfaktor $RK1$ erhalten wird. Dieser erste Rüttelkorrekturwert $RK1$ kann nur dann einen Wert größer Null aufweisen, wenn Schwingungs- oder Rüttel effekte alleine oder zusammen mit Aussetzer effekten vorliegen. Werden auf diese Art und Weise Fremdeffekte festgestellt, kann die Aussetzererkennung ganz verboten werden. Beim Ausführungsbeispiel geht der Wert der Größe $RK1$ jedoch in den Rüttelkorrektur-Gesamtwert RKG ein, der von den Aussetzererkennungswerten $DTAE(i)$ abgezogen wird.

Es wird darauf hingewiesen, daß der jeweils aktuelle Wert von $RK1$ nicht zwingend am Ende eines jeden Arbeitszyklus j berechnet werden muß, sondern daß er auch fortlaufend für jeden Zylinder aus den Werten von den jeweils letzten Z Zylindern (Z = Zylinderanzahl des Verbrennungsmotors) berechnet werden kann. Es ist auch möglich, den Wert zu mitteln oder ihn über eine größere Anzahl von Zylindern oder Arbeitszyklen hinweg zu ermitteln, damit nicht mit jedem Zyklus unterschiedliche Werte abgezogen werden, was der Fall wäre, wenn der Wert $RK1$ gemäß Fig. 5 jeweils als solcher für jeden Arbeitszyklus j verwendet würde. Solche Unterschiede werden jedoch automatisch durch weiter unten beschriebene Filterglieder 18.1 – 4 gemittelt. Wie ersichtlich, weist die Größe $RK1$ am Ende des ersten Arbeitszyklus den Wert $-1/2$, am Ende des zweiten Arbeitszyklus dagegen den Wert Null auf. Dies zeigt, daß sich eine Mittelwertbildung empfiehlt.

Nicht nur Aussetzer liegen auch dann ganz sicher vor, wenn, wie weiter oben erläutert, der Wert $DTV(i+1)E(i)$ kleiner Null ist, obwohl der Wert $DTE(i)V(i)$ größer Null war. Auch das Verletzen dieser Plausibilitätsbedingung kann dazu genutzt werden, die Aussetzererkennung abzuschalten oder in ihrer Empfindlichkeit zu verringern. Wenn hierzu kein Korrekturwert berechnet wird, kann ein fester Korrekturwert von den Aussetzererkennungsgrößen $DTAE(i)$ abgezogen werden, oder der Schwellenwert SW kann erhöht werden.

In Fig. 5 sind noch drei weitere Größen N , P und $RK2$ eingezeichnet, die gemäß in Fig. 5 ebenfalls aufgelisteten Gleichungen (G), (H) bzw. (I) berechnet werden. N ist dabei die Summe der negativen Werte von $DTV(i+1)E(i)$, während P die Summe der entsprechenden positiven Werte jeweils für die vier Zylinder in einem Arbeitszyklus ist. Auch hier kann die Summierung wieder fortlaufend für jeden Zylinder aus den Werten für die jeweils letzten Z Zylinder erfolgen. Wird als Wert für N ein Wert kleiner Null oder kleiner als ein negativer Schwellenwert erhalten, und ist P größer Null, ist dies das Zeichen dafür, daß entweder keine Aussetzer oder Aussetzer vorliegen, denen andere Störungen überlagert sind.

Durch Aufzeichnen zahlreicher Zeitspannenmuster, entsprechend dem Schwingungsmuster von Fig. 5, für Schwingungen mit unterschiedlichen Perioden, für unterschiedliche Rüttelmuster, auch überlagert mit unterschiedlichen Aussetzermustern, für Aussetzer in nur einem Zylinder oder in mehreren Zylindern, entweder in aufeinanderfolgenden oder voneinander getrennten Zylindern, wurde festgestellt, daß eine weitere Größe, mit der das Ausmaß von Rütteln oder von Schwingungen erfaßt werden kann, die Größe $RK2$ gemäß Gleichung (I) von Fig. 5 ist. Es ist dies der Maximalwert der Beträge der Werte von N und P .

Wie im Rüttelkorrekturblock 16 in Fig. 4 angegeben, ist der Wert RKG ein Wert proportional zur Summe aus den Werten $RK1$ und $RK2$.

Auf jede der Additionsstellen 17.1 bis 17.4, in denen der Wert der Größe RKG vom jeweiligen Aussetzererkennungswert $DTAE(i)$ abgezogen wird, folgt ein Tiefpaß 18.1 bis 18.4, in dem die korrigierte Erkennungsgröße mit der üblichen Filtergleichung erster Ordnung gefiltert wird, wie sie in Gleichung (L) in Fig. 4 angegeben ist. Stattdessen kann aber eine beliebige andere Mittelwertbildung erfolgen. Die Mittelwertbildung mit Hilfe der Tiefpaßgleichung erster Ordnung läßt sich rechnerisch jedoch besonders einfach ausführen; sie mittelt ferner automatisch Schwankungen der Rüttelkorrekturwerte aus. Die hierbei für die vier Zylinder gewonnenen Mittelwerte $MDTAE(i)$ werden mit dem weiter oben erläuterten Schwellenwert $SW(n, L)$ in Vergleichen 19.1 bis 19.4

verglichen. Für jeden Zylinder i, für den der zugehörige Mittelwert MDTE(i) den Schwellenwert SW(n, L) überschreitet, wird angenommen, daß Aussetzer vorliegen. Es wird dann das Einspritzen von Kraftstoff in diesen Zylinder eingestellt.

In der Praxis können auch Fälle auftreten, in denen die Rüttelkorrektur relativ stark ausfällt, was dann dazu führt, daß der Schwellenwert nicht überschritten wird, obwohl Aussetzer vorliegen. Es ist dann empfehlenswert, die Rüttelkorrekturwerte für die verschiedenen Zylinder miteinander zu vergleichen. Sind alle Rüttelkorrekturwerte gleich hoch, spricht dies dafür, daß die hohen Werte ausschließlich durch zündaussetzerfremde Störungen bedingt sind. Ist dagegen ein einzelner Wert besonders hoch, kann versuchsweise das Einspritzen von Kraftstoff in den betreffenden Zylinder unterbunden werden. Stellt sich dann heraus, daß alle Werte im wesentlichen unverändert bleiben, ist dies das Zeichen dafür, daß in diesem Zylinder tatsächlich Aussetzer auftraten. Ändern sich die Werte, wird das Einspritzen wieder aufgenommen.

Abschließend sei nochmals hervorgehoben, daß es wesentlich für die beschriebenen Verfahren ist, daß ein Verdichtungssegment und ein Expansionssegment für jeden Zylinder so festgelegt werden, daß die zugehörigen Zeitspannen bei rundem Motorlauf einander gleich sind. Treten Abweichungen in den Zeitspannen auf, können diese Differenzen unmittelbar zum Berechnen von Erkennungswerten für Aussetzer verwendet werden und/oder Erkennungswerte können mit Rüttelkorrekturwerten korrigiert werden, die mit Hilfe der Differenzen bestimmt wurden. Im letzteren Fall geht es immer darum, Plausibilitätskriterien in bezug auf Aussetzer zu nutzen. In der vorliegenden Beschreibung sind grundlegende, einfache Plausibilitätskriterien genannt. Die Plausibilitätskriterien können jedoch sehr komplex ausgestaltet werden, auch z. B. unter Nutzen von Autokorrelationsverfahren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Aussetzererkennung in einem Verbrennungsmotor, **dadurch gekennzeichnet**, daß
 - für jeden Zylinder i von Z Zylindern ein Verdichtungssegment und ein Expansionssegment so nach jeweiligem Anfangskurbelwinkel und jeweiliger Kurbelwinkelsumme festgelegt werden, daß zeitbezogen bei rundem Lauf des Motors eine zum Verdichtungssegment gehörende Verdichtungszeitspanne TV(i) im wesentlichen gleich einer zum Expansionssegment gehörenden Expansionszeitspanne TE(i) ist, wobei das Verdichtungssegment innerhalb derjenigen Kurbelwinkelspanne für den Zylinder i liegt, in der sich die Drehzahl des Motors aufgrund von Verdichtungsvorgängen erniedrigt, und wobei das Expansionssegment innerhalb derjenigen Kurbelwinkelspanne für den Zylinder i liegt, in der sich die Drehzahl des Motors aufgrund von Expansionsvorgängen erhöht,
 - und Abweichungen zwischen Verdichtungszeitspanne und Expansionszeitspanne bei mindestens einem Zylinder zur Aussetzererkennung genutzt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß von den Zeitspannen jeweils eine Korrekturzeitspanne BVK zum Berücksichtigen von Zeitspannenänderungen wegen Beschleunigungen oder Verzögerungen abgezogen wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitspannen durch eine drehzahlabhängige Korrekturgröße nK zum Berücksichtigen des Drehzahlbereichs auf die Zeitspannen dividiert werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 3, dadurch gekennzeichnet, daß für mehrere Zylinder untersucht wird, ob die voneinander abweichenden Werte von Verdichtungszeitspannen und Expansionszeitspannen für unrunder Motorlauf, der nur durch Aussetzer bedingt ist, plausibel sind und, falls dies nicht der Fall ist, die Empfindlichkeit der Aussetzererkennung verringert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß dann, wenn der Wert $DTE(i+1)E(i) = TV(i+1) - TE(i) < 0$ ist, obwohl der Wert $DTE(i)V(i) = TE(i) - TV(i) > 0$ war, verneint wird, daß nur durch Aussetzer beeinflusster Motorlauf vorliegt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zum Nutzen beim Verringern der Empfindlichkeit der Aussetzererkennung der Wert

$$RK1 = \sum_{i=1}^Z |DTE(i+1)E(i) - DTE(i)V(i)|, \text{ wenn diese Differenz} < 0$$

gebildet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe

$$N = \sum_{i=1}^Z DTE(i+1)E(i), \text{ wenn} < 0$$

gebildet wird, und dann, wenn dieser Wert kleiner als ein negativer Schwellenwert oder der Wert Null ist, verneint wird, daß nur durch Aussetzer beeinflusster Motorlauf vorliegt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zum Nutzen beim Vorliegen der Empfindlichkeit der Aussetzererkennung der Wert

$$RK2 = \begin{cases} |NI| & \text{für } |NI| < P \\ P & \text{für } |NI| > P \end{cases}$$

gebildet wird, wobei

$$P = \sum_{i=1}^L DTV(i+1) E(i), \text{ wenn } > 0.$$

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 8, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Zylinder wiederholt die Differenzwerte $DIFF(i) = TE(i) - TV(i)$ gebildet werden und auf Aussetzer erkannt wird, wenn eine mit diesen Differenzwerten gebildete Größe eine Schwellenbedingung erfüllt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 – 8, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Zylinder wiederholt die Differenzwerte $DIFF(i) = TV(i+1) - TV(i)$ gebildet werden und auf Aussetzer erkannt wird, wenn eine mit diesen Differenzwerten gebildete Größe eine Schwellenbedingung erfüllt.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

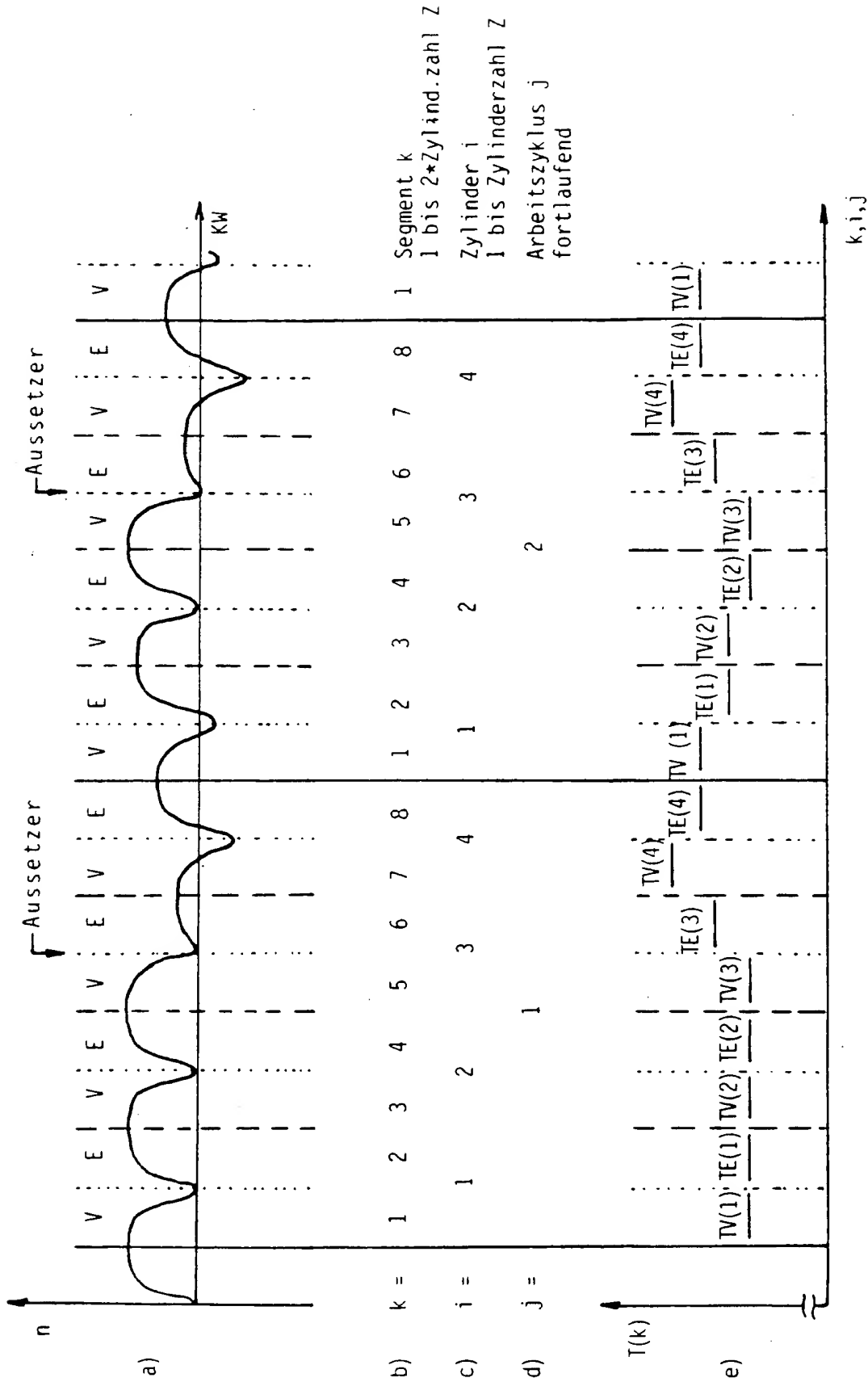


Fig. 1

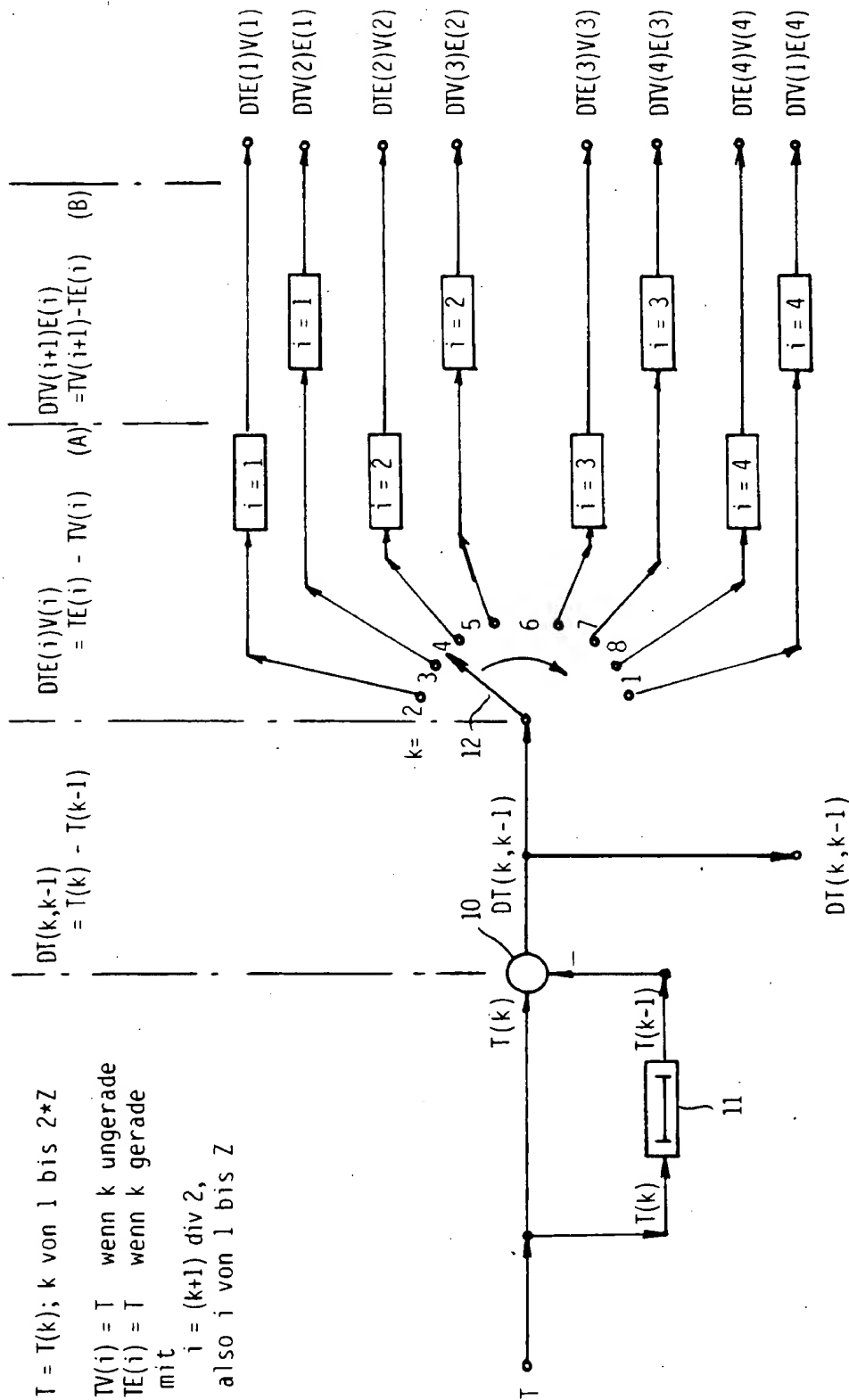


Fig. 2

(C2)

$$\begin{aligned} \text{DIFF}(i) &= \text{DTV}(i+1)\text{E}(i) - \text{DTV}(i)\text{E}(i-1) \\ &= \text{TV}(i+1) - \text{TV}(i) \end{aligned}$$

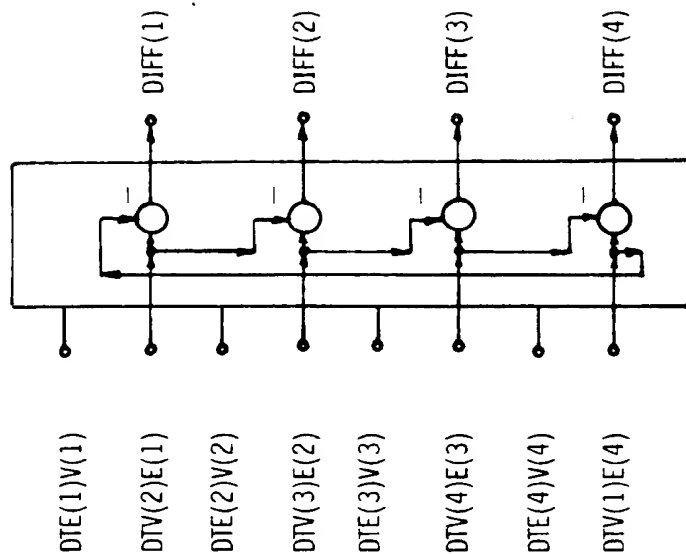


Fig. 3b

(C1)

$$\text{DIFF}(i) = \text{DTE}(i)\text{V}(i)$$

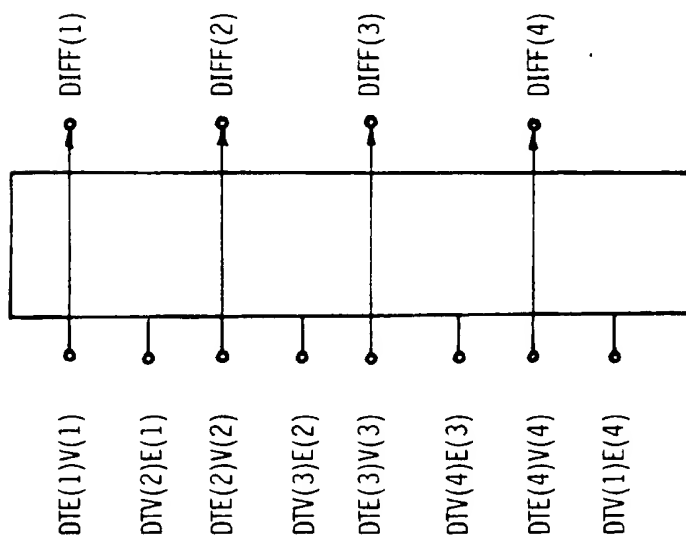


Fig. 3a

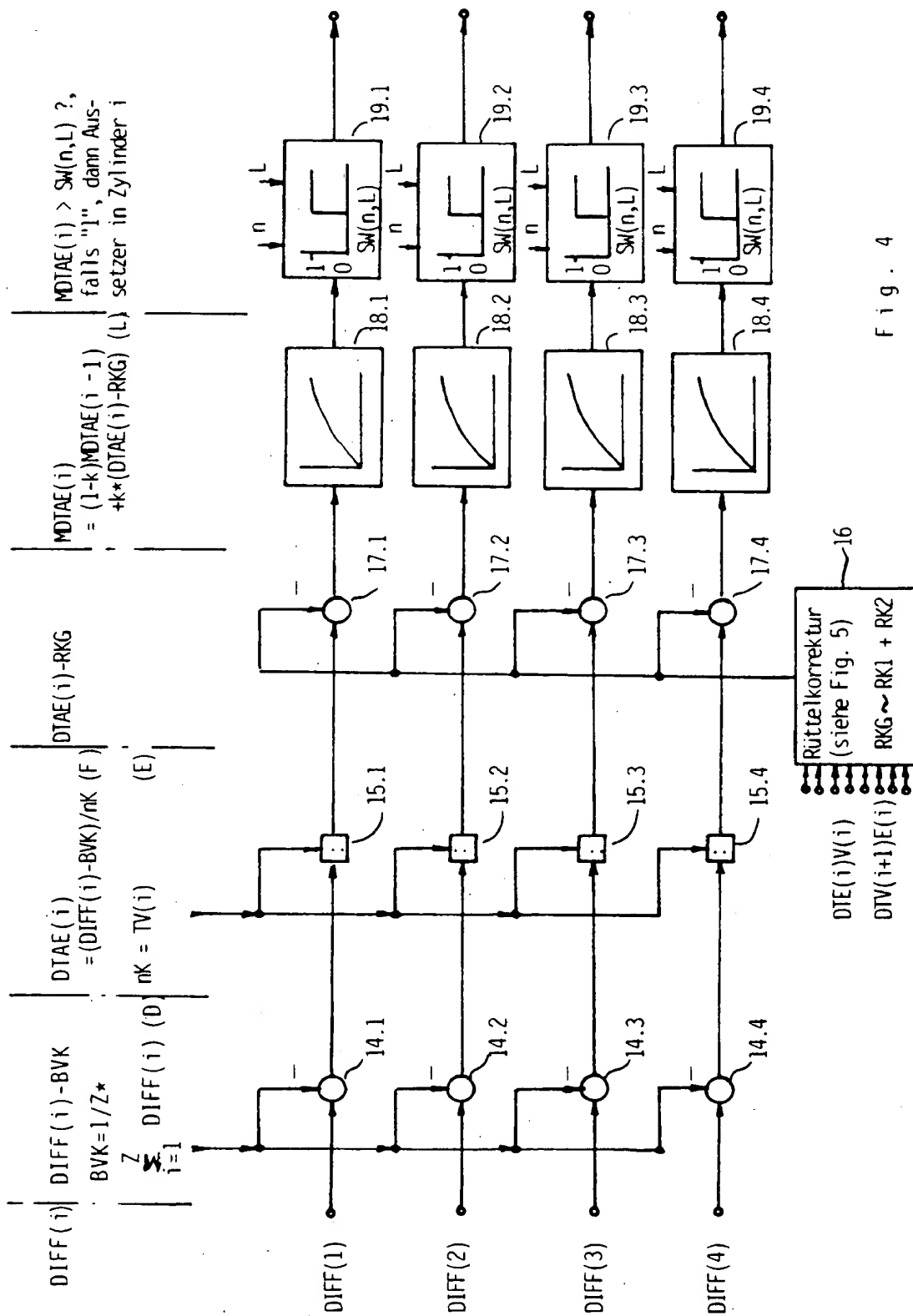


Fig. 4

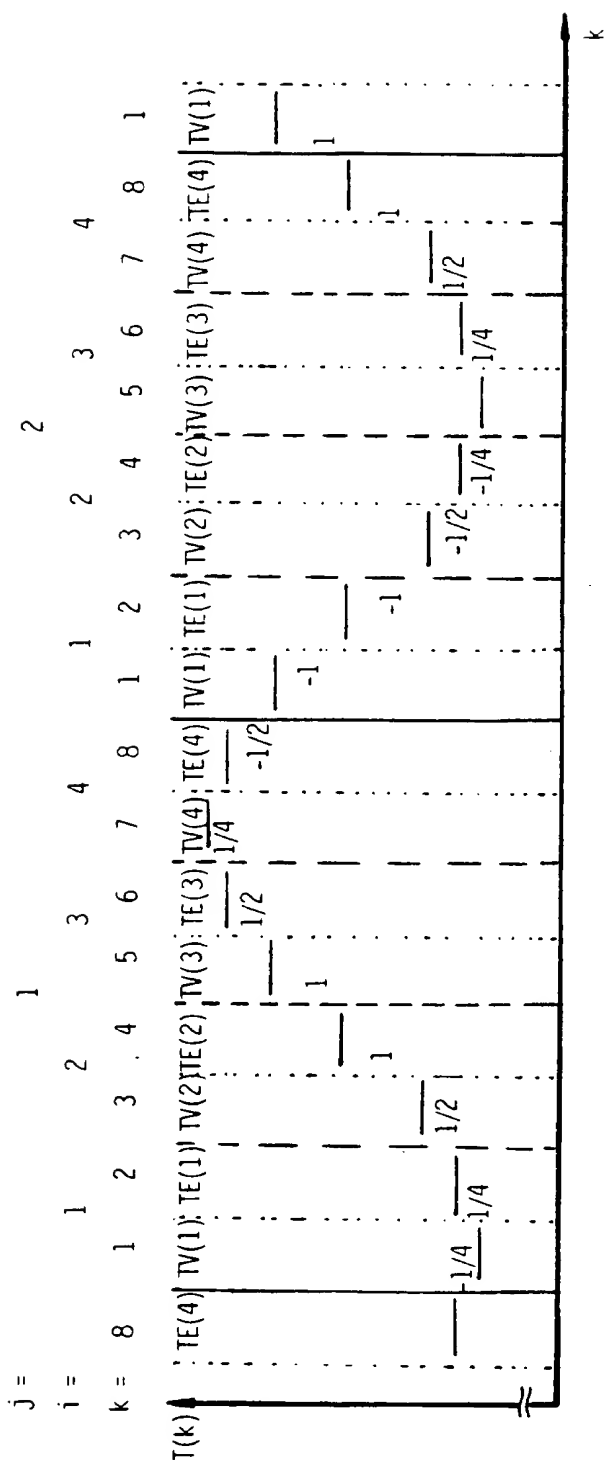


Fig. 5

$DTE(i)V(i)$	1/4	1	1/2	-1/4	-1	-1/2	1/4	1	
$DTV(i+1)E(i)$	-1/4	1/2	1	1/4	-1/2	-1	1/2	1	
$DTR(i)=DTV(i+1)E(i)-DTE(i)V(i)$	(J)	1/4	0	-1/4	-1/4	0	1/4	0	
$RK1 = \sum_{i=1}^Z DTR(i) $	(K)								0
$N = \sum_{i=1}^Z DTV(i+1)E(i) (<0)$	(G)								-1 1/4
$P = \sum_{i=1}^Z DTV(i+1)E(i) (>0)$	(H)								1 1/2
$RK2 = \begin{cases} N & \text{für } N < P \\ P & \text{für } N > P \end{cases}$	(I)								1 1/4